

PLC分析与设计应用

周万珍 高鸿斌 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

前 言

可编程序控制器（PLC）是综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术的一种新型的、通用的自动控制装置。它具有功能强、可靠性高、使用灵活方便、易于编程及适应工业环境下应用等一系列优点，近年来在工业自动化、机电一体化、传统产业技术等方面应用越来越广，成为现代工业控制三大支柱之一。PLC的最终目标是用于实践，提高生产力。如今，应用PLC已经成为世界潮流，PLC将在我国得到更全面的推广应用。

目前，PLC产品大致可分为美国、欧洲国家、日本三大流派，由于PLC产品在不断地更新换代，编写反映新机型、新技术的书籍十分必要。本书以现在流行的有较高性能价格比的SIEMENS S7-200系列小型PLC为背景，使读者接触到最新的PLC产品。

在编写过程中，编者力求做到语言流畅、叙述清楚、讲解细致，所有内容都立足于实际应用和教学，并融入编者的经验和成果。全书共分为8章。第1章主要阐述了现代工业控制从继电器控制发展到PLC控制的过程，简要介绍了PLC工作原理和编程语言，对PLC最常使用的输入/输出单元的工作原理进行了分析。第2章以S7-200系列为背景对PLC组成形式，由PLC构成的典型控制系统的形式，工程中实际用到的功能模块及可能遇到的问题进行了介绍。第3章对PLC的内部功能结构和提供给用户的编程资源进行了介绍，为指令的学习和应用打下了基础。第4章通过梯形图和助记符语言详细介绍了指令系统，并给出了简单举例。第5章介绍了PLC应用系统的总体设计方法、步骤、应遵循的原则及人机界面设计的方法。第6章介绍了通信基础知识，着重对西门子公司公司的PLC通信及网络系统进行介绍，使读者能够通过查阅有关的技术手册对PLC网络进行设计和应用。第7章介绍了PLC对电机的典型控制，完整地给出了PLC在几个典型行业控制中的应用实例及控制程序。第8章介绍了适用于S7-200的STEP 7-Micro/Win开发环境的使用。附录提供了S7-200 PLC的速查参考资料。

参加本书编写的有河北科技大学的周万珍、高鸿斌（共同执笔第1章、第2章、第3章、第4章），王建霞（第5章），武卫东（第6章），孔美静（第7章的7.1、7.2、7.3、7.4节），李胜旺（7.5节），阮冬茹（第8章），青年教师孙秋红编写了附录并做了大量的文字工作。本书由周万珍、高鸿斌负责全书的组织、修改和统稿。沙占友教授担任本书的主审，他在百忙中认真审阅了全书并提出了宝贵的意见。本书部分章节的编写参考了有关资料，在此对参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，错误和疏漏在所难免，敬请读者批评指正。

编者
于石家庄

目 录

第 1 章	PLC概述	(1)
1.1	继电器控制系统	(1)
1.2	PLC的由来	(3)
1.3	PLC的定义	(6)
1.4	PLC工作原理	(8)
1.5	PLC的编程语言	(11)
1.6	I/O单元	(14)
	习题	(18)
第 2 章	PLC控制基础	(19)
2.1	PLC控制系统的基本组成形式	(19)
2.1.1	PLC的基本结构	(19)
2.1.2	PLC控制系统的结构	(20)
2.1.3	PLC网络及特点	(21)
2.2	PLC电源模块	(23)
2.3	PLC的运行	(24)
2.3.1	工作方式	(24)
2.3.2	出错处理	(24)
2.3.3	编程器	(26)
2.4	扩展功能模块	(26)
2.4.1	模块之间的连接	(26)
2.4.2	I/O的一般问题	(27)
2.4.3	常用模块介绍	(29)
2.5	冗余设计	(39)
2.5.1	PLC的冗余运行	(39)
2.5.2	供电系统的设计	(39)
	习题	(40)
第 3 章	PLC编程基础	(41)
3.1	指令执行原理	(41)
3.1.1	STL使用的逻辑堆栈	(41)
3.1.2	梯形图的能流概念	(42)
3.1.3	梯形图的特点	(43)
3.2	寻址方式	(44)
3.2.1	I/O地址分配	(44)
3.2.2	寻址方式	(46)

3.3	存储器的划分.....	(49)
3.4	S7-200 CPU中的程序组织.....	(57)
3.4.1	S7-200 CPU中的程序组织.....	(57)
3.4.2	数据类型.....	(59)
3.4.3	指令格式.....	(59)
3.5	S7-226性能指标简介.....	(61)
3.5.1	面板端子简介.....	(61)
3.5.2	性能指标.....	(63)
3.6	配置PLC.....	(64)
	习题.....	(67)
第 4 章	S7-200指令系统详解.....	(68)
4.1	概述.....	(68)
4.2	位逻辑指令.....	(69)
4.2.1	指令介绍.....	(69)
4.2.2	指令使用举例.....	(73)
4.3	比较指令.....	(74)
4.4	传输指令.....	(76)
4.4.1	指令介绍.....	(76)
4.4.2	传输指令举例.....	(78)
4.5	定时器指令.....	(78)
4.5.1	定时器的分类.....	(79)
4.5.2	指令介绍.....	(79)
4.5.3	定时器指令举例.....	(80)
4.6	计数器指令.....	(80)
4.7	时钟指令.....	(82)
4.8	数学运算指令.....	(83)
4.9	逻辑运算指令.....	(85)
4.10	中断指令.....	(88)
4.11	转换指令.....	(91)
4.12	移位和循环指令.....	(98)
4.13	比例 / 积分 / 微分 (PID) 回路控制指令.....	(99)
4.14	程序控制指令.....	(103)
4.15	字符串指令.....	(106)
	习题.....	(107)
第 5 章	PLC应用系统设计.....	(108)
5.1	PLC应用系统设计概述.....	(108)
5.2	PLC控制系统的设计.....	(109)
5.2.1	PLC控制系统的设计内容及设计步骤.....	(109)
5.2.2	PLC控制系统的硬件设计.....	(111)

5.2.3	PLC控制系统的软件设计.....	(115)
5.2.4	PLC程序设计的常用方法.....	(120)
5.2.5	PLC程序设计步骤.....	(132)
5.3	人机界面的设计.....	(135)
5.3.1	PLC应用系统的人机界面.....	(135)
5.3.2	人机界面设计时应考虑的几个问题.....	(135)
5.3.3	人机界面设计的方法和步骤.....	(137)
5.3.4	人机界面设计过程.....	(138)
5.3.5	人机界面设计原则.....	(139)
	习题.....	(140)
第 6 章	S7-200的通信与网络.....	(141)
6.1	通信基础知识.....	(141)
6.1.1	基本概念和术语.....	(141)
6.1.2	差错控制.....	(144)
6.1.3	传输介质.....	(146)
6.1.4	串行通信接口标准.....	(146)
6.2	工业局域网基础.....	(148)
6.2.1	局域网4大要素.....	(149)
6.2.2	网络协议和体系结构.....	(151)
6.2.3	现场总线.....	(153)
6.3	S7-200通信部件介绍.....	(155)
6.3.1	通信端口.....	(155)
6.3.2	PC/PPI电缆.....	(156)
6.3.3	网络连接器.....	(158)
6.3.4	PROFIBUS网络电缆.....	(158)
6.3.5	网络中继器.....	(159)
6.3.6	EM277PROFIBUS-DP模块.....	(159)
6.4	S7-200PLC的通信.....	(160)
6.4.1	概述.....	(160)
6.4.2	利用PPI协议进行网络通信.....	(161)
6.4.3	利用MPI协议进行网络通信.....	(161)
6.4.4	利用PROFIBUS协议进行网络通信.....	(162)
6.4.5	利用ModBus协议进行网络通信.....	(167)
6.4.6	工业以太网.....	(173)
第 7 章	PLC控制系统设计及实例.....	(175)
7.1	常用电动机的基本控制环节及控制实现.....	(175)
7.1.1	起动、停车和点动.....	(175)
7.1.2	电机正、反转控制.....	(178)
7.1.3	基本联锁控制.....	(180)

7.1.4	多地点控制.....	(181)
7.1.5	小结.....	(182)
7.2	除尘室的PLC控制.....	(182)
7.2.1	系统示意图.....	(182)
7.2.2	工艺要求.....	(183)
7.2.3	PLC的选择及I/O的分配.....	(183)
7.2.4	控制程序设计.....	(183)
7.3	PLC在恒压供水中的应用.....	(183)
7.3.1	系统控制的工艺要求.....	(184)
7.3.2	PLC的选型.....	(184)
7.3.3	PLC的I/O分配.....	(185)
7.3.4	变频器的技术参数.....	(186)
7.3.5	电气控制系统原理图.....	(186)
7.3.6	系统程序设计.....	(187)
7.4	PLC在细纱机上的应用.....	(193)
7.4.1	改造前系统原理图.....	(193)
7.4.2	工艺要求.....	(196)
7.4.3	机型选定.....	(196)
7.4.4	PLC的I/O分配.....	(197)
7.4.5	PLC的控制程序.....	(197)
7.4.6	结论.....	(200)
7.5	PLC在水泥厂煤预均化过程中的应用.....	(200)
7.5.1	系统设计.....	(201)
7.5.2	工艺过程与程序设计.....	(202)
	习题.....	(203)
第 8 章	STEP 7开发环境介绍.....	(204)
8.1	STEP7概述.....	(204)
8.1.1	STEP 7-Micro/WIN的安装.....	(204)
8.1.2	STEP7-Micro/WIN窗口组件.....	(204)
8.1.3	定制STEP7-Micro/WIN32.....	(206)
8.1.4	使用帮助.....	(207)
8.2	编程准备.....	(207)
8.2.1	编辑器比较.....	(208)
8.2.2	指令系统比较.....	(208)
8.2.3	硬件连接及参数设置.....	(208)
8.3	STEP 7-MICRO/WIN 32主要编程功能.....	(210)
8.3.1	编程元素及项目组件.....	(210)
8.3.2	编写梯形图程序.....	(211)
8.3.3	数据块编辑.....	(216)

8.3.4	符号表操作	(216)
8.4	通信	(219)
8.4.1	配置通信网络	(219)
8.4.2	下载	(221)
8.4.3	上装	(221)
8.5	调试与监控	(222)
8.5.1	选择工作模式	(222)
8.5.2	程序状态显示	(222)
8.5.3	状态图显示	(223)
8.5.4	执行有限次扫描	(224)
8.5.5	查看交叉引用	(225)
8.6	管理项目	(225)
8.6.1	打印	(225)
8.6.2	复制项目	(226)
8.6.3	引入文件	(226)
8.6.4	引出文件	(226)
	习题	(227)
附录A	错误代码信息表	(228)
附录B	常用特殊存储器 (SM) 标志位	(230)
参考文献	(235)

第1章 PLC概述

本章阐述了现代工业控制从继电器控制发展到PLC控制的过程，给出了PLC的定义，并介绍了PLC的工作原理和编程语言，对PLC最常使用的输入/输出单元的工作原理进行了分析。

1.1 继电器控制系统

1. 控制系统简介

进入20世纪以来，流水线生产、社会化大生产蓬勃发展，继电器控制系统已被广泛地应用于工业生产的各个领域，创造了一个个成功的控制系统范例，并且对一些典型的逻辑控制关系建立了固定的继电器逻辑控制组合（也称功能单元）。一般的继电器控制系统可以看成由输入电路、控制电路、输出电路和控制对象4个部分组成。其中输入电路是由一些能完整表明控制对象状态的按钮、行程开关、限位开关、各类传感器等组成的，由它们向控制系统提供被控对象的信息。输出电路由接触器、电磁阀等执行元器件构成，用以控制电机、电炉、阀门等，以此来保证被控对象处于安全、合理、有序的运行状态。继电器控制部分是整个控制系统的核心部分，不同的逻辑控制功能都是由它来完成的。继电器控制系统结构如图1-1所示。

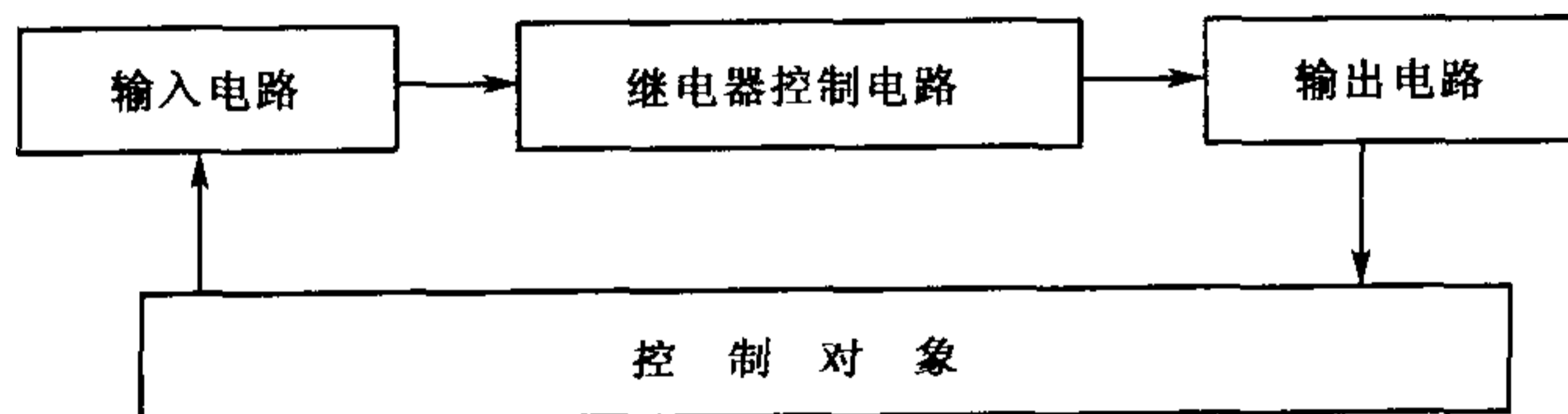


图1-1继电器控制系统结构图

2. 继电器控制电路图

为了说明继电器的控制功能是如何实现的，下面介绍继电器控制电路的基本知识。

1) 常开按钮

常开按钮触点的平常工作状态是断开状态。用手按动时，触点闭合，变为连接状态；手离开按钮时，触点断开，恢复为断开状态。

2) 常闭按钮

常闭按钮触点的平常工作状态是连接状态。用手按动时，触点断开，变为断开状态；手离开按钮时，触点闭合，恢复为连接状态。

常开、常闭按钮的电气原理图，以及按钮的常闭触点的电气符号、按钮的常开触点的电气符号如图1-2所示。

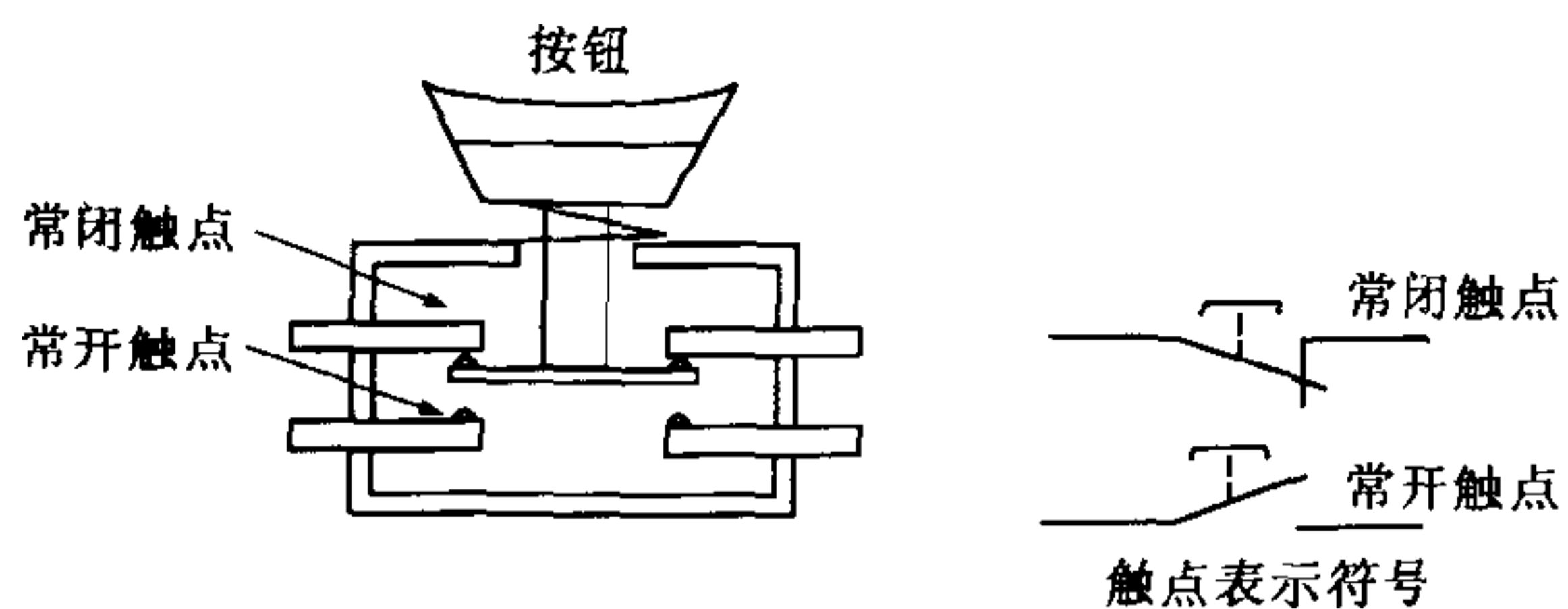


图1-2按钮和按钮的触点

3) 常开触点

常开触点的平常工作状态是断开状态。当继电器线圈通电时，触点闭合，为连接状态；当继电器线圈断电时，触点断开，恢复断开状态。

4) 常闭触点

常闭触点的平常工作状态为连接状态。当继电器线圈通电时，触点断开，为断开状态；当继电器线圈断电时，触点闭合，恢复闭合状态。

5) 继电器线圈

只有控制连接该线圈的所有触点都闭合时，继电器线圈通电，衔铁吸合，使常开触点闭合，常闭触点断开；线圈失电时，常开触点断开，常闭触点闭合。继电器的电气原理图及继电器线圈、继电器常开触点、继电器常闭触点的电气符号如图1-3所示。

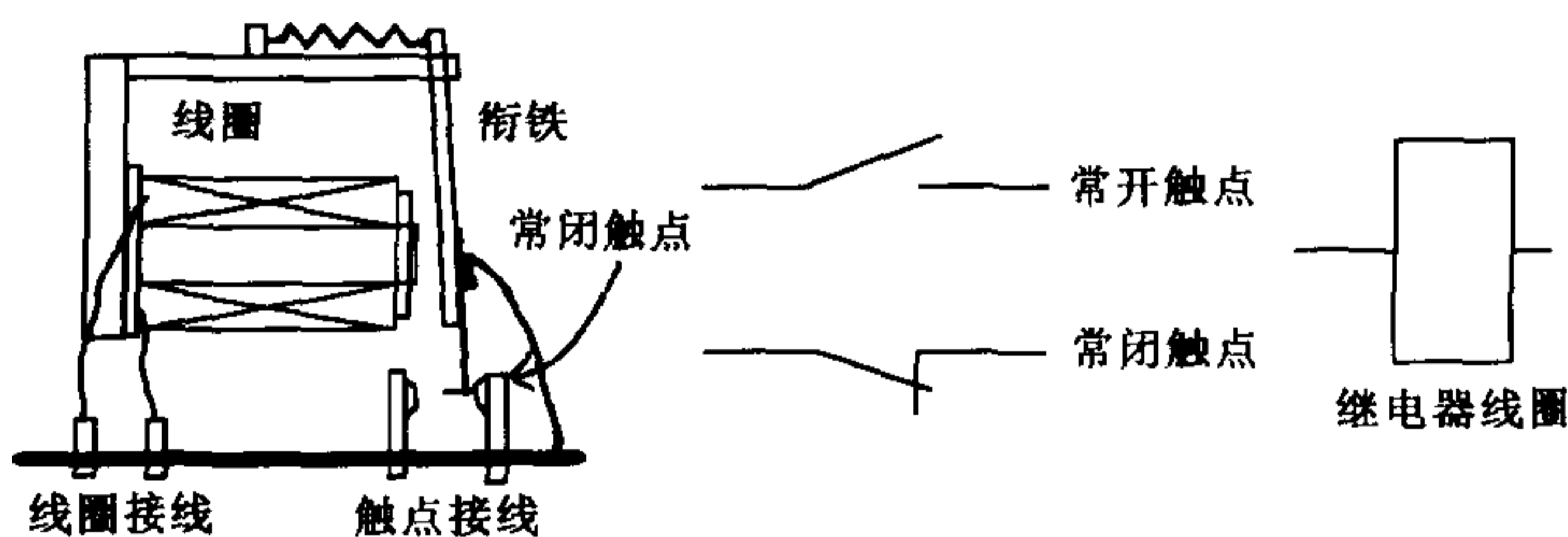


图1-3继电器、继电器的触点和继电器中电磁铁线圈的电气符号

无论是继电器触点还是按钮触点，它们所起的逻辑控制作用是相同的，只是驱动方式不同，在电路图中用不同的符号表示。用以上5种电气符号可以组成任何复杂的继电器控制电路图，以描述控制系统的逻辑控制关系。很显然，起主导控制作用的是触点，触点的开闭决定了电路的通断。如图1-4所示是一个简单的继电器控制电路（起、保、停）图。

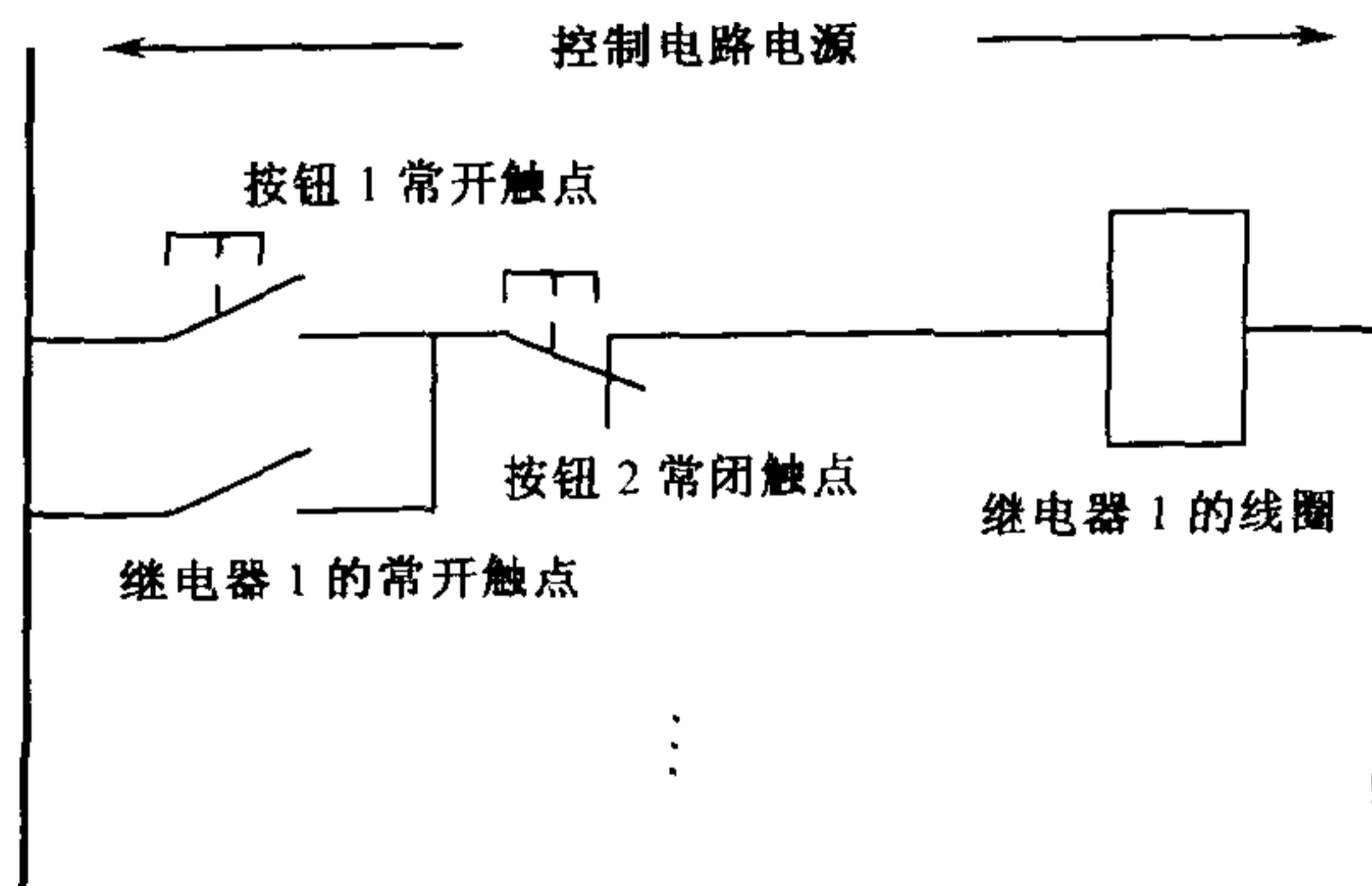


图1-4 一个简单的继电器控制电路

其工作过程如下：按钮1按下时，通过按钮2的常闭触点使继电器1得电，继电器1的常开触点闭合，通过按钮2的常闭触点维持继电器1继续得电，起动设备工作。需要停车时，按下按钮2，按钮2的常闭触点断开，继电器1失电，设备关机。

整个继电器控制系统的核心都是由这样一些基本的控制功能电路组成的。

3. 继电器控制系统特点

继电器控制电路图就是实际的逻辑连线图，两侧的母线代表实际的控制电源线。

各个控制单元继电器是否动作是由其接点条件控制的，且不受其所处电路图前后位置的影响。同一时刻，可有多个不同的控制单元继电器在动作（翻转），控制的结果及逻辑动作顺序也是由其接点条件来控制的。

继电器是具有惯性的器件，动作有延迟，而系统的动作顺序充分地考虑了这种延迟。当延迟不满足条件时，利用故障导向安全的原则来锁闭控制电路。

继电器是一种可靠的逻辑器件，继电器之间及与其他电子器件之间的连接是通过导线来完成的，且相互之间的绝缘、隔离性能良好。

继电器控制电路实现的控制功能比较简单，只限于逻辑、定时、计数等一些简单的控制。由于这种控制关系往往是针对某一固定的生产工艺设计的，当生产过程发生变更时，须重新设计，改变继电器及接线。同时，由于继电器的机械动作还会造成控制速度低，安装施工工程量，系统不易扩展，维护工作量大，故障不易查找等缺点。

1.2 PLC的由来

1. PLC的由来

20世纪60年代末，由于市场的需要，工业生产从大批量、少品种的生产方式转变为小批量、多品种的生产方式。但是，当时这种大规模生产线的控制大多是继电器控制系统，体积大、耗电多，改变生产程序非常困难。为了改变这种状况，满足用户对产品多样性的要求，1968年美国通用汽车公司对外公开招标，要求用新的电器控制装置取代继电器控制装置，以适应改变生产程序的需要。该公司提出下面10项指标：

- (1) 编程方便，现场可修改程序；
- (2) 维修方便，采用插件式结构；
- (3) 可靠性高于继电器控制装置；
- (4) 数据可直接输入管理计算机中；
- (5) 输入电源可为市电；
- (6) 输出电源可为市电，负载电流要求2A以上，可直接驱动电磁阀和接触器等；
- (7) 用户存储器容量大于4KB；
- (8) 体积小于继电器控制装置；
- (9) 扩展时原系统变更最少；
- (10) 成本与继电器控制装置相比，有一定竞争力。

1969年，美国数字设备公司（DEC）制成了世界上第一台可编程序逻辑控制器（PLC），在美国通用汽车公司生产线上使用并取得了成功，从此开创了可编程序逻辑控制器的时代。

2. PLC的输入

通过对继电器控制特点的介绍和最初通用汽车公司提出的要求分析，PLC要想取代继电器控制，首先要解决外部设备的直接输入问题。由于当时主要集中在开关量控制，也就是开关量（触点的开闭状态）如何直接接入PLC并被PLC所识别，对此需要解决以下几个方面的问题：有源接入、无源接入、绝缘问题、隔离问题和互相干扰问题。PLC就是一个计算机控制系统，在其发展过程中，人们曾将计算机直接用于工业控制，但是由于以下两大问题没有解决好而难于发展：一是I/O（输入/输出）问题，计算机不能直接和工业现场设备连接限制了应用；二是计算机的I/O功能、开关逻辑处理功能不够丰富和强大。现在的PLC成功地解决了这两方面的问题，可以让PLC和外部设备直接进行物理的连接。计算机的内部提供了丰富的从位逻辑到双字运算的强大运算功能，使其能够完成复杂的控制功能，这也是PLC能够迅速发展原因。

3. PLC的输出

输出问题主要是接点的驱动能力问题，或者说是带负载能力和输出方式的问题。输出动作次数的限制，是保证PLC的输出接点能否驱动接触器、电磁阀这样的控制执行元器件的问题，至少要能直接驱动中间继电器。从能量的观点看有拉电流和灌电流之分。虽然这个问题说起来比较简单，但是集成电路的发热问题是影响其集成度的重要因素。所幸的是，现在的PLC产品已经完全有能力驱动这些元器件，并提供了多种输出方式且动作次数可保证上万次无故障的产品。

4. PLC控制机制

PLC已经完全能够取代继电器控制系统。只有对其控制机制有了准确的理解，才能对其持续地开发并创造性地使用它。一件事情要了解其本质，不仅要知道怎样做还要明白为什么这样做，这是素质和能力的体现。I/O电路已经保证了PLC与现场设备的直接连接，并在内部寄存器存储了这些状态。但是，为了取代继电器控制，更重要的是如何组织和使用的这些开关量，从而达到用软件程序代替硬件连线的目的。在这里通过对继电器控制电路特点的介绍，已经知道继电器控制电路的特点在于各个控制单元是否动作是由其接点条件控制的，并不受其前后位置的影响。同一时刻，可有多个不同的控制单元继电器在动作（翻转），控制的结果、逻辑动作顺序也是由其接点条件来控制的。这与计算机顺序执行的工作特点是矛盾的。主要体现在：一个是乱序，只要条件满足就执行；而另一个是顺序执行。PLC充分地利用了计算机存储程序的思想和高速度特点，采用了控制系统中的离散控制方法，使它的控制能够完全取代继电器的控制。具体地说就是将连续的控制用离散控制代替，如下式：

$$y(n)=f(x(n-1),y(n-1))$$

式中， $y(n)$ 为某一时间段的输出值；

$y(n-1)$ 为上一时间段的输出值；

$x(n-1)$ 为上一时间段某一时刻的输入值；

f 为它们应满足的控制关系。

即某一时间段的输出完全取决于上一时间段某一时刻的输入和上一时间段的输出。在这里强调的是某一时刻的输入值。这样做成的PLC中的输入量只是某一时刻的输入量的值，在一个时间段内这个输入量在计算机内保持不变，只要计算机运算速度足够快，完全可以

在这一时间段内计算出应有的输出结果，从而达到输出的结果与计算顺序无关。即可以让计算机顺序地计算，使无序和顺序执行有机地统一起来。

至于上一时间段的输出，在参加计算的时候，只是存储在映像寄存器中的输出结果，执行运算过程中并不修改端子的输出值。真实地输出已表现在端子接点上，并要保持一个时间段，也就是采取集中输出的方法，在计算的过程中完全可以使用或修改其映像寄存器中的值而不会对现阶段的输出产生影响。这样只要时间段足够短，并且PLC周而复始地运行着，就完全可以模仿继电器的控制并且取代它。

由于采用集中I/O的思想，其I/O状态存储在寄存器中，可以充分发挥计算机的强大逻辑计算能力，以完成更复杂的控制功能。

5. PLC的组成

如图1-5所示，PLC与通用计算机没有什么区别，只是一台增强了I/O功能的可与控制对象方便连接的计算机。其完成控制的实质是按一定算法进行I/O变换，并将这个变换物理实现，应用于工业现场。

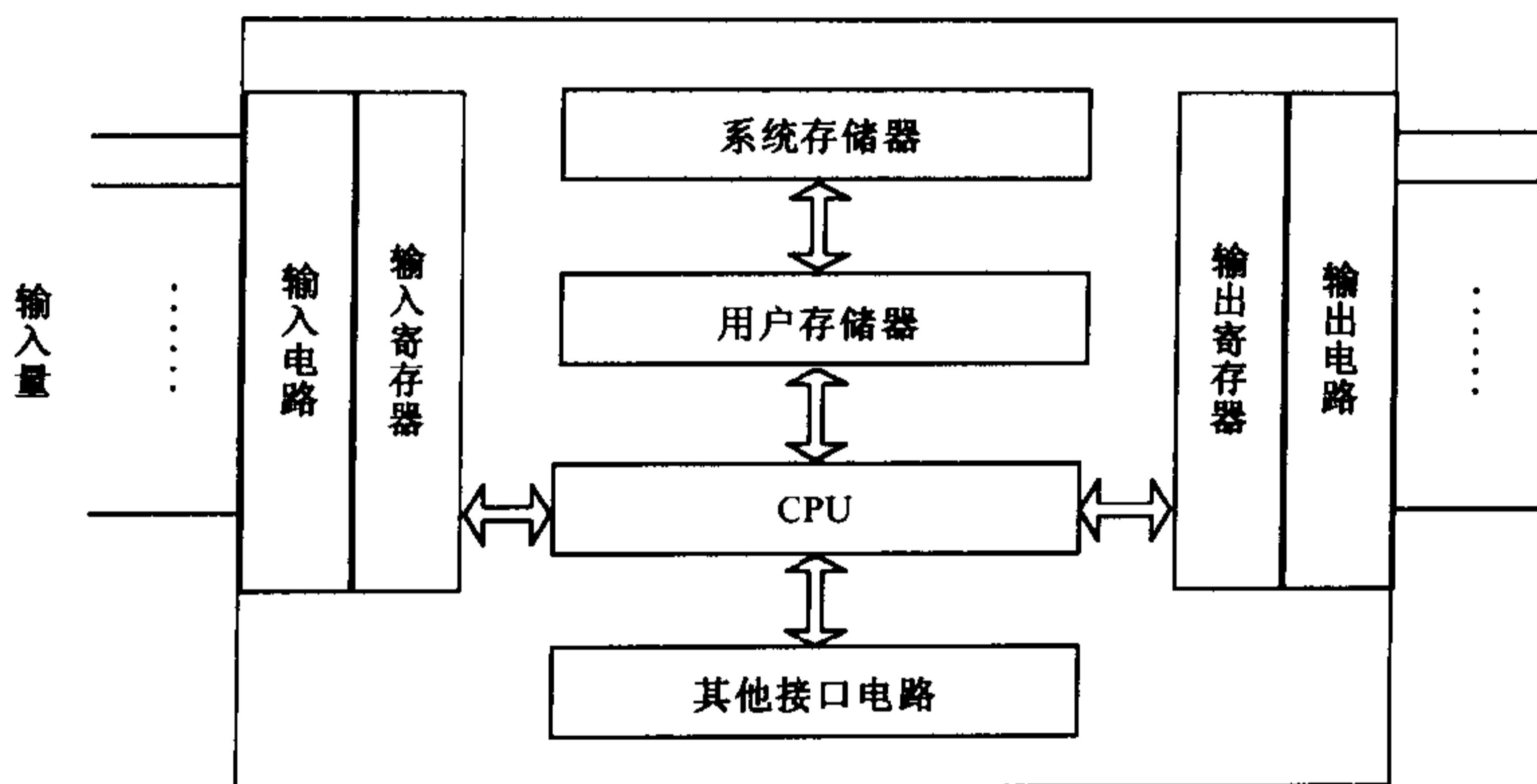


图1-5 PLC的组成

1) 输入寄存器

输入寄存器可按位进行寻址，每一位对应一个开关量，其值反映了开关量的状态，其值的改变由输入开关量驱动，并保持一个扫描周期。CPU可以读其值，但不可以写或进行修改。

2) 输出寄存器

输出寄存器的每一位都表明了PLC在下一个时间段的输出值，而程序循环执行开始时的输出寄存器的值，表明的是上一时间段的真实输出值。在程序执行过程中，CPU可以读其值，并作为条件参加控制，还可以修改其值，而中间的变换仅仅影响寄存器的值。只有程序执行到一个循环的尾部时的值才影响下一时间段的输出，即只有最后的修改才对输出接点的真实值产生影响。

3) 存储器

存储器分为系统存储器和用户存储器。系统存储器存储的是系统程序，它是由厂家开发固化好了的，用户不能更改，PLC要在系统程序的管理下运行。用户存储器中存放的是用户程序和运行所需要的资源，I/O寄存器的值作为条件决定着存储器中的程序如何被执行，从而完成复杂的控制功能。

4) CPU单元

CPU单元控制着I/O寄存器的读、写时序，以及对存储器单元中程序的解释执行工作，是PLC的大脑。

5) 其他接口单元

其他接口单元用于提供PLC与其他设备和模块进行连接通信的物理条件。

1.3 PLC的定义

1. PLC的定义

最初，可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller）简称PLC，只能进行计数、定时及开关量的逻辑控制。随着计算机技术的发展，可编程逻辑控制器的功能不断扩展和完善，其功能远远超出了逻辑控制的范围，具有了PID、A/D、D/A、算术运算、数字量智能控制、监控、通信联网等多方面的功能，它已变成了实际意义上的一种工业控制计算机。于是，美国电器制造商协会（NEMA）将其正式命名为可编程序控制器（Programmable Controller），简称PC。由于它与个人计算机（Personal Computer）的简称PC相同，所以人们习惯上仍将其称为PLC。

1987年2月，国际电工委员会（IEC）对可编程序控制器的定义是：可编程序控制器是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下的应用而设计。它采用一类可编程序的存储器，用于其内部存储程序、执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术操作等面向用户的指令，并通过数字式或模拟式输入/输出，控制各种类型的机械或生产过程。可编程序控制器及其有关外部设备，都按易于与工业控制系统连成一个整体、易于扩充功能的原则设计。

2. PLC的特点

（1）可靠性高。在I/O环节，PLC采用了光电隔离、滤波等多种措施。系统程序和大部分的用户程序都采用E2PROM存储，一般PLC的平均无故障工作时间可达几万小时以上。

（2）控制功能强。PLC所采用的CPU一般是具有较强位处理功能的位处理机，为了增强其复杂控制功能和联网通信等管理功能，可以采用双CPU的运行方式，使其功能得到极大的加强。

（3）编程方便易学。第一编程语言（梯形图）是一种图形编程语言，与多年来工业现场使用的电器控制图非常相似，理解方式也相同，非常适合现场人员学习。

（4）适用于恶劣的工业环境。采用封装的方式，适合于各种震动、腐蚀、有毒气体等的应用场合。

（5）与外部设备连接方便。采用统一接线方式的可拆装的活动端子排，提供不同的端子功能适合于多种电气规格。

（6）体积小、重量轻、功耗低。

（7）性价比高。与其他控制方式相比，性价比较高。

（8）模块化结构，扩展能力强。根据现场需要进行不同功能的扩展和组装，一种型号的PLC可用于控制从几个I/O点到几百个I/O点的控制系统。

(9) 维修方便，功能更改灵活。程序的修改就意味着控制功能的修改，因此功能的改变非常灵活。

3. PLC的性能指标

1) 存储容量

这里专指用户存储器的存储容量，它决定了用户所编制程序的长短。大、中、小型PLC的存储容量变化范围一般为2KB~2MB。

2) I/O点数

I/O点数，即PLC面板上的I/O端子的个数。I/O点数越多，外部可连接的I/O器件就越多，控制规模就越大。它是衡量PLC性能的重要指标之一。

3) 扫描速度

扫描速度是指PLC执行程序的快慢，是一个重要的性能指标，体现了计算机控制取代继电器控制的吻合程度。从自动控制的观点来看，决定了系统的实时性和稳定性。

4) 指令的多少

它是衡量PLC能力强弱的指标，决定了PLC处理能力、控制能力的强弱。限定了计算机发挥运算功能、完成复杂控制的能力。

5) 内部寄存器的配置和容量

它直接对用户编制程序提供支持，对PLC指令的执行速度及可完成的功能提供直接的支持。

6) 扩展能力

扩展能力包括I/O点数的扩展和PLC功能的扩展两方面的内容（即模块式和集中封装式系统的可扩展性）。

7) 特殊功能单元

特殊功能单元种类多，也可以说PLC的功能多。典型的特殊功能单元有模拟量、模糊控制、联网功能等。

4. PLC的分类

不同的分类标准会造成不同的分类结果，PLC常用的分类方法有如下两种。

按其I/O点数一般分为微型（32点以下）、小型（128点以下）、中型（1024点以下）、大型（2048点以下）、超大型（从2048点以上可达8192点及以上）5种。

按结构可分为箱体式、模块式和平板式3种。

5. PLC的发展

PLC通常在两个方向上发展：一是向体积更小、速度更快、功能更强、价格更低的方向发展，使PLC的使用范围不断扩大，达到了遍地开花的程度；二是向大型化、网络化、多功能方向发展，不断提高其功能，以便与现代网络相联接，组建大型的控制系统。

具体技术方面，PLC在以下几个方面得到了发展：

(1) 在PLC编程语言方面。为了完成复杂的控制功能，发展了功能块流程图语言、与计算机兼容的高级语言、专用PLC语言等多种语言。现在，大多数PLC公司已开发了图形化编程组态软件。该软件提供了简洁、直观的图形符号及注释信息，使得用户控制逻辑的表示更加直观明了，操作和使用也更加方便。

(2) I/O模块智能化和专用化。各模块本身具有CPU，能独立工作，可与PLC主机并

行操作，在可靠性、适应性、扫描速度和控制精度等方面都对PLC做了补充。

(3) 网络通信功能标准化。由于可用PLC构成网络，因此，各种PC、图形工作站、小型机等都可以作为PLC的监控主机和工作站，能够提供屏幕显示、数据采集、记录保持及信息打印功能。

(4) 控制技术冗余化。采用双处理器或多处理器，由操作系统控制转换，增加了控制系统的可靠性。

(5) 机电一体化。可靠性高、功能强、体积小、重量轻、结构紧凑，容易实现机电一体化，这是PLC发展的重要方向。

(6) 控制与管理功能一体化。随着VLSI技术和计算机技术的发展，在一台控制器上可同时实现控制功能和信息处理功能及网络通信功能。采用分布式系统可实现广泛意义上的控管一体化。

1.4 PLC工作原理

1. 循环扫描

CPU连续执行用户程序、任务的循环序列称为扫描。如图1-6所示，CPU的扫描周期包括读输入、执行程序、处理通信请求、执行CPU自诊断测试及写输出等内容。

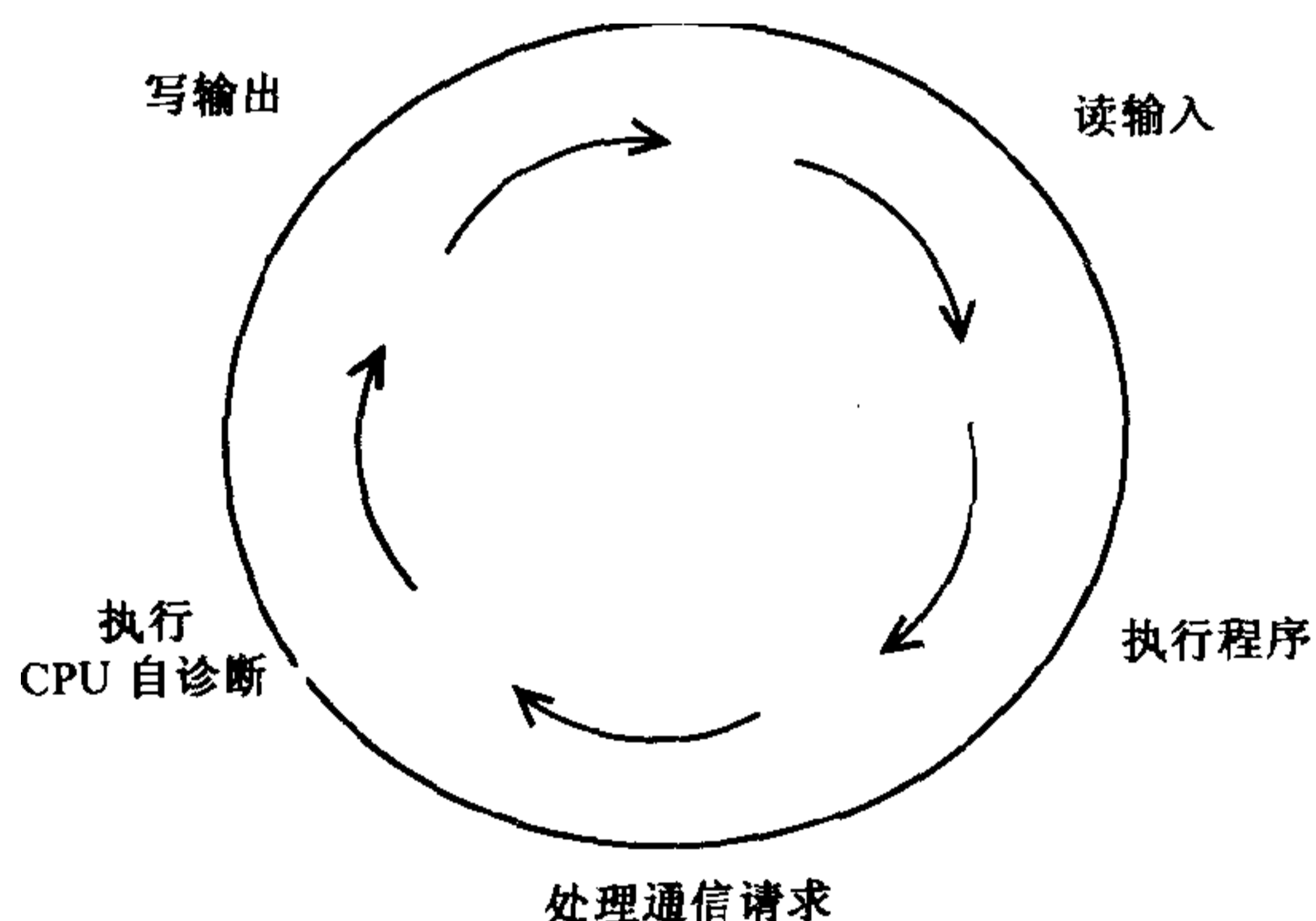


图1-6循环扫描周期

PLC可被看成是在系统软件支持下的一种扫描设备。它一直周而复始地循环扫描并执行由系统软件规定好的任务。用户程序只是扫描周期的一个组成部分，用户程序不运行时，PLC也在扫描，只不过在一个周期中去除了用户程序和读输入、写输出这几部分内容。典型的PLC在一个周期中可完成以下5个扫描过程。

(1) 自诊断测试扫描过程。为保证设备的可靠性，及时反映所出现的故障，PLC都具有自监视功能。自监视功能主要由时间监视器 (Watchdog Timer, WDT) 完成。WDT是一个硬件定时器，每一个扫描周期开始前都被复位。WDT的定时可由用户修改，一般在100~200ms之间。其他的执行结果错误可由程序设计者通过标志位进行处理。

(2) 与网络进行通信的扫描过程。一般小型系统没有这一扫描过程，配有网络PLC系统才有通信扫描过程，这一过程用于PLC之间及LC与上位计算机或终端设备之间的

(3) 用户程序扫描过程。机器处于正常运行状态下，每一个扫描周期内都包含该扫描过程。该过程在机器运行中是否执行是可控的，即用户可以通过软件进行设定。用户程序的长短，会影响过程所用的时间。

(4) 读输入、写输出扫描过程。机器在正常运行状态下，每一个扫描周期内都包含这个扫描过程。该过程在机器运行中是否被执行是可控的。CPU在处理用户程序时，使用的输入值不是直接从输入点读取的，运算的结果也不直接送到实际输出点，而是在内存中设置了两个映像寄存器：一个为输入映像寄存器，另一个为输出映像寄存器。用户程序中所用的输入值是输入映像寄存器的值，运算结果也放在输出映像寄存器中。在输入扫描过程中，CPU把实际输入点的状态锁入到输入映像寄存器；在输出扫描过程中，CPU把输出映像寄存器的值锁定到实际输出点。为了现场调试方便，PLC具有I/O控制功能，用户可以通过编程器封锁或开放I/O。封锁I/O就是关闭I/O扫描过程。

图1-7描述了信号从输入端子到输出端子的传递过程。

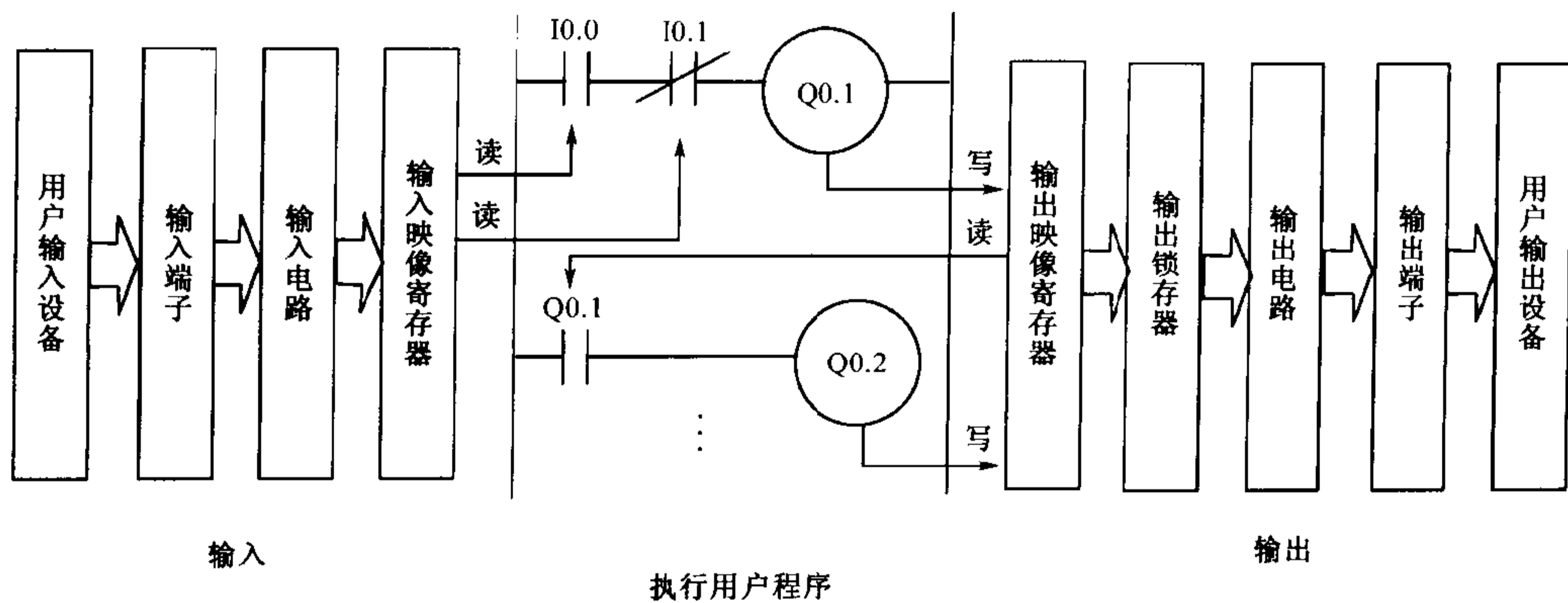


图1-7 PLC信号的传递过程

在读输入阶段，CPU对各个输入端子进行扫描，通过输入电路将各输入点的状态锁入输入映像寄存器中。紧接着转入用户程序执行阶段，CPU按照先左后右、先上后下的顺序对每条指令进行扫描，根据输入映像寄存器和输出映像寄存器的状态执行用户程序，同时将执行结果写入输出映像寄存器中。在程序执行期间，即使输入端子状态发生变化，输入状态寄存器的内容也不会改变——输入端子状态变化只能在下一个工作周期的输入阶段才被集中读入。在写输出阶段，将输出映像寄存器的状态集中锁定到输出锁存器，再经输出电路传递到输出端子。

由上述分析得出循环扫描有如下特点：

(1) 扫描过程周而复始地进行，读输入、写输出和用户程序是否执行是可控的。

(2) 输入映像寄存器的内容是由设备驱动的，在程序执行过程中的一个工作周期内输入映像寄存器的值保持不变，CPU采用集中输入的控制思想，只能使用输入映像寄存器的值来控制程序的执行。

(3) 程序执行完后的输出映像寄存器的值决定了下一个扫描周期的输出值，而在程序执行阶段，输出映像寄存器的值既可以作为控制程序执行的条件，同时又可以被程序修改用于存储中间结果或下一个扫描周期的输出结果。此时的修改不会影响输出锁存器的现在输出值，这是与输入映像寄存器完全不同的。

(4) 对同一个输出单元的多次使用、修改次序会造成不同的执行结果。由于输出映像寄存器的值可以作为程序执行的条件，所以程序的下一个扫描周期的集中输出结果是跟编程顺序有关的，即最后一次的修改决定了下一个周期的输出值，这是编程人员要注意的问题。

(5) 各个电路和不同的扫描阶段会造成输入和输出的延迟，这是PLC的主要缺点。各PLC厂家为了缩小延迟采取了很多措施，编程人员应对所使用型号的PLC的延迟时间的长短很清楚，它是进行PLC选型时的重要指标。

输入 / 输出采用映像寄存器结构的优点：

(1) 集中采样I/O，程序扫描期间输入值固定不变，程序执行完后，统一输出。这种集中I/O的方法保证了程序的顺序执行与外部电路乱序执行的统一，使系统更加稳定可靠。

(2) 程序执行时，存取映像寄存器要比直接读写I/O端点快得多，这样可以加快程序执行速度。

(3) I/O点必须按位存取，而映像寄存器可按位、字节、字、双字灵活地存取，增加了程序的灵活性。

从以上对扫描周期的分析可知，扫描周期的时间变化基本上可分为三部分，即保证系统正常运行的公共操作、系统与外部设备信息的交换和用户程序的执行。第一部分的扫描时间基本上是固定的，因机器类型而有所不同；第二部分并不是每个系统或系统的每次扫描都有，占用的扫描时间也是变化的；第三部分随控制对象工艺的复杂程度和用户控制程序而变化。因此这部分占用的扫描时间不仅对不同系统其长短不同，而且对同一系统的不同执行条件也占用着不同的扫描时间。所以系统扫描周期的长短，除了因是否运行用户程序而有较大的差别外，在运行用户程序时也不是完全固定不变的。这是由于在执行程序中，随着变量状态的不同，一部分程序段可能不执行而形成的。用户程序的扫描时间主要由CPU的运算速度和程序的长短决定。

2. I/O响应时间

由于PLC采用循环扫描的工作方式，而且对输入和输出信号只在每个扫描周期的固定时间集中输入 / 输出，所以必然会产生输出信号相对输入信号滞后的现象。扫描周期越长，滞后现象越严重。对慢速控制系统这是允许的，当控制系统对实时性要求较高时，这就成了必须面对的问题，所以编程者应对滞后时间有一个具体数量上的了解。

从PLC输入端信号发生变化到输出端对输入变化做出反应，需要一段时间，这段时间就称为PLC的响应时间或滞后时间。

响应时间由输入延迟、输出延迟和程序执行时间三部分决定。

(1) PLC输入电路中设置了滤波器，滤波器的常数越大，对输入信号的延迟作用越强。输入延迟是由硬件决定的，有的PLC滤波器时间常数可调。

(2) 从输出锁存器到输出端子所经历的时间称为输出延迟，对各种不同的输出形式其值大小不同。它也是由硬件决定的，对于不同型号的PLC其具体数值可通过查表得到。

(3) 程序执行时间主要由程序长短来决定，对一个实际的控制程序，编程人员须对此部分进行现场测算，使PLC的响应时间控制在系统允许的范围内。

在最有利情况下，输入状态经过一个扫描周期在输出得到响应的最短时间，称为最小I/O响应时间。在最不利的情况下，输入点的状态恰好错过了输入的锁入时刻，造成在下一个